



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عمار تليجي الأغواط
Université Amar Telidji Laghouat

FACULTE DES SCIENCES

DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE

OPTION : ÉCOLOGIE VÉGÉTALE ET ENVIRONNEMENT

THEME

**Impact des engrais sur les eaux Souterraines et
l'Environnement : Cas de la Ville de Bordj Senouci (Nord-est
de la ville de Laghouat)**

Présenté par :

Mlle : SASSOUI Errim Mlle : ZEGHEBIB Zineb

Devant le jury :

Nom Et Prénom	Grade	Qualité
ALLAL Farida	MCA - Laghouat	Présidente
CHAIBI Rachid	Professeur - Laghouat	Examineur
BENTAHAR Fatiha	MCB -Laghouat	Encadrante

Année Universitaire 2024_2025

Remerciement

Nos plus profondes gratitudes vont d'abord à Dieu, Le Tout-Puissant, pour la force, le courage et la volonté qu'Il nous a accordés tout au long de la réalisation de ce travail.

Ce mémoire n'aurait pu voir le jour sans le soutien précieux et l'encadrement bienveillant de **Madame Dr. BENTAHAR Fatiha**, Maître de conférences à l'Université de Laghouat, que nous tenons à remercier chaleureusement pour sa disponibilité, ses conseils avisés et son accompagnement constant. Qu'elle trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre profonde considération.

Nous adressons également nos sincères remerciements à Madame **Dr. ALLAL Farida**, qui a eu l'amabilité de présider ce jury et d'examiner notre travail. Nous lui exprimons toute notre gratitude pour l'attention et l'intérêt qu'elle y a accordés.

Nos remerciements vont également au **Professeur CHAIBI Rachid** pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail. Nous lui sommes vivement reconnaissants pour l'intérêt qu'il y a porté.

Nous exprimons également notre gratitude à l'ensemble des enseignants du **Département de Biologie** de l'Université de Laghouat, en particulier ceux de la spécialité **Écologie végétale et Environnement**, pour la qualité de leur enseignement et la richesse des connaissances qu'ils nous ont transmises tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nos remerciements les plus sincères s'adressent à nos familles, nos proches et nos amis, pour leur soutien moral, leurs encouragements et leur présence bienveillante tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Merci à toutes et à tous.

Dédicace

À mes chers parents, véritables piliers de ma vie, pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leur confiance inébranlable qui m'ont porté tout au long de mon parcours académique. C'est grâce à vous que je me tiens aujourd'hui à cette étape.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à ma chère professeure, **Dr. BENTAHAR Fatiha**, pour son encadrement bienveillant, sa disponibilité, et son accompagnement engagé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Un remerciement tout particulier à mon amie **Zineb**, pour sa présence constante, son soutien moral et ses encouragements sincères à chaque étape de ce travail.

Enfin, une pensée chaleureuse et reconnaissante à mes camarades de promotion, qui ont été comme une seconde famille tout au long de ces années d'études partagées.

Errim

Dédicace

Avant toute chose, je dédie ce travail à **la mémoire de ma chère mère**, qui a toujours été une source inestimable d'amour, de tendresse et de force. À toi, maman, j'offre le fruit de ce parcours avec toute ma fierté et ma gratitude.

À mon cher père **Abderrahmane**, pour ses innombrables sacrifices, son amour profond, sa tendresse et son soutien indéfectible tout au long de mes études. Que Dieu le garde, le protège et bénisse sa vie.

À mon frère **Abdelhamid**,

À ma sœur **Soumia**,

Pour leur affection et leur présence précieuse dans ma vie.

Je tiens également à exprimer toute ma reconnaissance à mon amie **Errim**, pour son accompagnement fidèle et son soutien moral, qui ont grandement contribué à l'accomplissement de ce mémoire.

À mes chères amies **Chaïma**, **Fatna**, et **Hanane**, qui m'a offert l'un des plus beaux cadeaux que l'on puisse recevoir : une place unique dans mon cœur.

À **toute la promotion 2025**, sans exception, pour les moments partagés, le soutien mutuel et l'ambiance solidaire qui ont marqué ces années d'étude.

Zineb

المخلص:

تندرج هذه الدراسة، التي أُجريت في منطقة برج سنوسي (ولاية الأغواط)، في سياق الضغط المتزايد على الموارد المائية. وتهدف إلى تقييم الجودة الكيميائية للمياه الجوفية. يتضمن العمل وصفاً دقيقاً لمنطقة الدراسة، بالإضافة إلى منهجية مفصلة تبدأ من أخذ العينات إلى إجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية في المختبر.

شملت التحاليل عدة مؤشرات أساسية لتقييم جودة المياه الجوفية، بما في ذلك الرقم الهيدروجيني (pH) ، التوصيلية الكهربائية (CE)، والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) ، التي تم قياسها ميدانياً. أما تركيزات النترات (NO_3^-) ، فقد تم تحديدها في مخبر "هورايون" لولاية عنابة. شملت هذه القياسات ثمانية آبار، وتم تنفيذها ما بين شهري جانفي وماي 2025، ثم مقارنتها بالنتائج التي تم الحصول عليها سابقاً بين مارس وجوان 2024.

أظهرت النتائج تفاوتاً ملحوظاً في تركيزات النترات حسب المواقع. حيث سُجلت قيم مرتفعة جنوب المنطقة، متجاوزة القيم المسموح بها، مما يجعل هذه المياه غير صالحة للاستعمال وتشكل خطراً على الصحة العامة. في المقابل، أظهرت المياه الجوفية في شمال المنطقة جودة مقبولة وضمن المعايير الدولية، مما يعكس استقراراً هيدرولوجياً نسبياً في تلك المناطق.

الكلمات المفتاحية: برج سنوسي، تلوث المياه الجوفية، نترات، تحاليل فيزيائية-كيميائية، النشاط الزراعي، المخاطر الصحية.

Résumé

Cette étude, menée dans la région de Bordj Snouci (Laghouat), s'inscrit dans un contexte de pression croissante sur les ressources en eau. Elle vise à évaluer la qualité chimique des eaux souterraines. Le travail comprend une description de la zone d'étude ainsi qu'une méthodologie détaillée allant des prélèvements aux analyses physico-chimiques en laboratoire.

Les analyses ont porté sur plusieurs paramètres essentiels à l'évaluation de la qualité des eaux souterraines, notamment le pH, la conductivité électrique (CE) et les solides dissous totaux (TDS), mesurés directement sur le terrain. Les concentrations en nitrates (NO_3^-), quant à elles, ont été déterminés au laboratoire Horizon de la wilaya d'Annaba. Ces mesures ont concerné huit forages et ont été réalisées entre janvier et mai 2025, puis comparées aux résultats précédemment obtenus entre mars et juin 2024.

Les résultats ont révélé des disparités notables selon les sites. Les **forages situés au sud** de la zone présentent des concentrations en nitrates supérieures aux normes admises, ce qui rend l'eau impropre à plusieurs usages et constitue une menace pour la santé publique. En revanche, les **forages localisés au nord** montrent une qualité d'eau satisfaisante, conforme aux standards internationaux, traduisant un état hydrogéologique plus stable.

Mots clés : Bordj Snouci, Pollution des eaux souterraines, nitrate, analyses physico-chimique, activité agricole, Risque sanitaire.

Abstract:

This study, conducted in the Bordj Snouci region (Laghouat), is set within the context of increasing pressure on water resources. Its objective is to assess the chemical quality of groundwater. The work includes a detailed description of the study area and a comprehensive methodology, ranging from sampling to laboratory-based physico-chemical analyses.

The analysis focused on key parameters used to evaluate groundwater quality, including pH, electrical conductivity (EC), and total dissolved solids (TDS), which were measured directly in the field. Nitrate (NO_3^-) concentrations were determined at the Horizon Laboratory in the Wilaya of Annaba. These measurements covered eight boreholes and were carried out between January and May 2025, then compared to data previously collected between March and June 2024.

The results revealed significant differences depending on location. Boreholes located in the southern part of the area showed nitrate levels exceeding accepted standards, rendering the water unsuitable for many uses and posing a potential public health risk. In contrast, boreholes in the northern area displayed good water quality, in compliance with international standards, indicating a more stable hydrogeological condition.

Keywords: Bordj Snouci, Groundwater pollution, Nitrate, Physico-chemical analysis, Agricultural activity, Health risk.

SOMMAIRE	
Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction	1
Chapitre I: Synthèse Bibliographiques	
I- Généralité sur L'eau	4
I.1.1. Définition de l'eau	4
I.1.2. Chimie de l'eau	4
I.1.2.1. Structure de l'eau	4
I.1.3. Cycle d'eau	6
I.1.4. Sources de l'eau	7
I.1.4.1. eaux souterraines	7
I.1.4.1.1. Notion de nappe d'eau souterraine	7
I.1.4.1.2. Différents types de nappes	8
I.1.4.2. Eaux de surface	10
I.1.4.2.1. Comparaison entre les eaux souterraines et les eaux de surface	10
I.1.4.3. eaux marines et les eaux saumâtres	11
I.1.5. Normes de la qualité de l'eau	11
I.2. Pollution de l'eau	12
I.2.1 Origine de pollution	13
I.2.2. Cycle de l'azote	13
I.3. nitrates	14
I.3.1. Origine des nitrates dans les eaux	15
I.3.2. Pollution par les nitrates	15
I.1.3. Risques sanitaires liés aux nitrates	16
I.4. Fertilisation et changement climatique	16
Chapitre II : Matériels et Méthodes	
II.1. Présentation de la zone d'étude	19

II.2. Région de Bordj Senouci	19
II.2.1. Présentation de la zone de Bordj Senouci	19
II.3. Aperçu Géologique et Hydrogéologique	20
II.3.1. Aperçu Géologique	20
II.3.1.1. Cadre géologique de l'Atlas Saharien	20
II.3.1.2. formations étudiées	22
II.3.2. Aperçu Hydrogéologique	26
II.3.2.1. Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations à Laghouat	26
II.4. Echantillonnage et le Prélèvement	27
II.4.1. Analyses physico-chimiques	29
II.4.1.1. Paramètres physiques	29
II.4.1.1.1. Mesure du pH	29
II.4.1.1.2. Mesure de la conductivité électrique (CE)	30
II.4.1.1.3. taux des sels dissous (TDS)	31
II.4.1.2. Paramètres chimiques	31
II.4.1.2.1. Dosage des nitrates (NO ₃ -)	31
Chapitre III :Résultats Et discussions	
III- Résultats des analyses physico-chimiques	35
III.1. Analyse physique	35
III.1.1. Potentiel d'hydrogène (PH)	35
III.1.2. Conductivité électrique (CE)	37
III.1.2.1. Interprétation hydrochimique de la conductivité électrique des eaux souterraines de Bordj Snouci	37
III.1.3. Taux des sels dissous (TDS)	40
III.1.3.1. Interprétation hydrochimique des TDS à Bordj Snouci	40
III.2. Analyse chimique	43
III.2.1. Définition des nitrates et origine	43
III.2.1.1. Interprétation hydrochimique mensuelle des teneurs en nitrates (janvier à mai)	43
III.3. Comparaison des Résultats	48

Conclusion	53
Références	

Liste des tableaux	
Tableau I.1 : Comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines	11
Tableau. I.2 : Normes OMS et Algérienne des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable	12
Tableau III.1 : Résultats des mesures du PH des eaux de la région de Bordj Senouci	35
Tableau III.2. : Résultats des mesures du Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$) des forages de la région de Bordj Senouci	39
Tableau III.3: Résultats de la mesure de TDS (g/l) enregistrés dans les forages de Bordj Senouci	42
Tableau III. 4: Résultats des mesures du nitrate (mg/l) des eaux de la région de Bordj Senouci	47
Tableau III. 5: Comparaison des Résultats – Mars	48
Tableau III. 6: Comparaison des Résultats – Avril	48
Tableau.III.7. Comparaison des Résultats - Mai	49
Tableau.III.8. Analyse Globale et Synthèse Comparative	49

Liste des figures	
Figure I.1 : Etats physiques de l'eau	5
Figure I.2 : Cycle de l'eau dans la nature	6
Figure I.3 : Schéma distinctif zone non-saturée et zone saturée	8
Figure I.4 : Schéma représente les différents types de nappes	10
Figure I.5 : Cycle de l'azote	14
Figure.II.1 : Situation géographique de la wilaya de Laghouat.	19
Figure.II.2 : Situation géographique de la région de Bordj Snouci.	20
Figure II.3 : Accident Sud Atlasique de Kef Seridja	21
Figure II.4 : Coupe schématique de djebel Laouidja	23
Figure II.5 : formation de Laouidja	23
Figure II.6 : Calcaires à polypiers	24
Figure II.7: Djebel Milok	24
Figure II.8 : Coupe schématique de djebel Milok	25
Figure II.9 : Grès et argile	25
Figure II.10 : Calcaire à silex et dolomitiques	26
Figure II.11 : Prélèvement d'un échantillon d'eau pour analyse	28
Figure II.12 : Mesure de paramètres physiques sur terrain	29
Figure II.13 : Mesure du PH	30
Figure II.14 : Appareil multi-paramètre	31
Figure II.15 : Réactifs pour le dosage des nitrates	32
Figure II.16: Opération des dosages du nitrate	33
Figure. III. 1 : Variations de PH dans les forages de Bordj Senouci	36
Figure III.2 : Variations de la Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) enregistrés dans les forages de Bordj Senouci	39
Figure. III. 3 : Variation des teneurs de la TDS enregistrés dans les forages de Bordj Senouci	43
Figure. III. 4 : Entreprise Publique Economique d'élevage de volailles UPD Laghouat	46
Figure.III.5 : Variations des teneurs en nitrates (mg/l) dans les forages de Bordj Senouci	47
Figure.III.6 : Comparaison des concentrations de nitrate Mars à Mai (2024vs 2025)	50

Liste des abréviations

ADE : Algérie des eaux.

°C : Degré Celsius.

CE : Conductivité électrique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

pH : potentiel Hydrogène.

TDS : Taux des Sels Dissous.

m : mètre.

g : gramme

L : litre.

MES : Matières en suspension

mg/L : Milligramme par litre

Km² : kilomètre carré.

S : Sud

N : Nord

E : Est

μS/cm : microSiemens par centimètre.

ml : millilitre.

T : Température.

NO₃⁻ : Ion nitrate

NO₂⁻ : Ion nitrite

NH₄⁺ : l'ammonium

Introduction

Les communautés humaines à travers le monde dépendent fortement de l'eau douce, non seulement pour la consommation directe, mais également pour des usages essentiels tels que l'agriculture, l'industrie, et le maintien des écosystèmes. Parmi les différentes sources disponibles, les eaux souterraines représentent une ressource vitale, assurant l'approvisionnement en eau potable de millions de personnes (Smith et al., 2016).

Bien que l'eau couvre environ 75 % de la surface de la planète, seule une faible fraction (2,5 %) est constituée d'eau douce. Cette dernière est répartie de la manière suivante : 68,7 % est stockée dans les glaciers, 30,1 % se trouve dans les eaux souterraines et seulement 1,2 % sous forme d'eaux de surface, près de 50 % de l'eau potable consommée et 40 % de l'eau utilisée pour l'irrigation dans le monde proviennent des nappes phréatiques (USGS Water Science School, 2013).

À l'échelle mondiale, les ressources en eau douce, et plus particulièrement les ressources souterraines, subissent une pression croissante liée à plusieurs facteurs : la hausse de la demande, la surexploitation, et la dégradation progressive de leur qualité. Le développement urbain, la généralisation de l'accès à l'eau potable, l'intensification des activités agricoles et le développement industriel figurent parmi les principaux moteurs de cette pression (Nouayti et al., 2015).

La croissance démographique mondiale exacerbe cette situation : la population est passée de 2,5 milliards d'habitants en 1950 à 7,7 milliards en 2019, et devrait atteindre environ 9,7 milliards d'ici 2050 (Nations Unies, 2019). Cette dynamique démographique accroît considérablement la demande en ressources agricoles, notamment en eau, et renforce les enjeux liés à la sécurité alimentaire, d'autant plus que les terres agricoles disponibles tendent à se réduire (Smith, 2013 ; Boserup, 2014 ; Godfray et al., 2010 ; Meadows et al., 2004).

L'usage des engrais est crucial pour améliorer les rendements agricoles, mais leur utilisation excessive, en particulier ceux riches en azote, engendre une pollution importante des eaux souterraines par les nitrates (Asado et al., 2024).

Les nitrates sont parmi les principaux polluants des eaux souterraines dans le monde. Leur concentration élevée résulte principalement des pratiques agricoles intensives et des rejets urbains non traités. Cette contamination entraîne une dégradation significative de la qualité de l'eau et représente un risque sanitaire avéré pour les populations (Galloway et al., 1995 ; Kim et al., 2019 ; Yu et al., 2020 ; Harris et al., 2022).

En Algérie, la rareté de l'eau, aggravée par les conditions climatiques et une mauvaise gestion des ressources, rend la question de l'eau particulièrement critique, avec de nombreuses pertes et une protection insuffisante des nappes (Boudjadja et al., 2003).

Dans le cadre de cette étude, nous sommes intéressés aux concentrations en nitrates des eaux souterraines de la nappe du Barrémien, située dans la commune de Bordj Snouci (wilaya de Laghouat). L'objectif principal est d'évaluer le niveau de pollution par les nitrates, d'identifier les sources potentielles de contamination et d'analyser les impacts environnementaux associés.

Ce travail est structuré en trois chapitres :

- **Chapitre 1** : Revue de la littérature, présentant la caractérisation des paramètres physico-chimiques étudiés ainsi que les normes internationales relatives à la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.
- **Chapitre 2** : Méthodologie, détaillant les techniques de prélèvement sur le terrain et les protocoles d'analyse en laboratoire.
- **Chapitre 3** : Analyse et interprétation des résultats obtenus pour les différents paramètres mesurés.

Enfin, l'étude se conclut par une synthèse des résultats, suivie de recommandations pratiques en matière de gestion durable des ressources en eau souterraine.

Chapitre I : synthèse

Bibliographique

Chapitre I: Synthèse Bibliographiques

I.1. Généralité sur l'eau

L'eau, élément vital pour toute forme de vie, est omniprésente sur notre planète, recouvrant approximativement 71% de sa superficie.

On estime qu'il y a approximativement 1.4 milliard de kilomètres cubes d'eau sur notre planète, dont 96.5% sont de l'eau salée. Ainsi, l'eau douce ne constitue que 2.5% du volume total de la planète, dont une portion significative est bloquée dans les glaciers, sous forme de neige pérenne (dans les régions montagneuses ou aux pôles) ou dans les nappes phréatiques à des profondeurs considérables (Gerin et al., 2003).

I.1.1. Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur la terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. L'eau se trouve en générale dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques : c'est notamment un solvant efficace pour la plupart des corps solides trouvés sur terre, L'eau est quelque fois désignée sous le nom de « solvant universel ». La formule chimique de l'eau pure est « H_2O » ; deux atomes d'hydrogène « H_2 » et un atome d'oxygène « O » (Lakha., 2021)

I.1.2 Chimie de l'eau

I.1.2.1. Structure de l'eau :

La molécule d'eau (**Fig.I.1**), avec ses propriétés uniques liées à sa nature dipolaire, est essentielle à la vie sur terre. Il est donc important de noter que l'eau chimiquement pure n'existe pas en dehors des laboratoires. En raison de sa capacité à dissoudre les impuretés, l'eau se salit facilement. Pour être potable, elle doit contenir un certain niveau de sels minéraux. La formation de liaisons hydrogène entre les molécules d'eau explique pourquoi, sous nos conditions standards de température et de pression, nous observons une abondante phase liquide sur notre planète. La molécule d'eau (H_2O), est composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène reliés par deux liaisons covalentes. Sa masse molaire s'élève à 18 g (Louis Schriver M, 2012)

Chapitre I: Synthèse Bibliographiques

L'eau peut exister sous trois formes physiques : solide, liquide et gazeuse. Elle devient solide à des températures inférieures à 0 °C, reste liquide entre 0 °C et 100 °C, et passe à l'état gazeux au-delà de 100 °C. Ces trois états coexistent naturellement dans notre environnement (Boukhadra, 2023).

- **État solide** : Il s'agit de la glace ou du verglas. Dans cette forme, les molécules d'eau sont arrangées de manière ordonnée, formant une structure rigide et stable.
- **État liquide** : Représenté par l'eau des rivières, des océans, du robinet ou même des nuages. Les molécules y sont en mouvement désordonné mais demeurent relativement proches les unes des autres.
- **État gazeux** : L'eau sous forme de vapeur, invisible à l'œil nu, est présente partout dans l'air que nous respirons. Dans cet état, les molécules sont très dispersées et se déplacent librement dans l'espace. (Boukhadra,2023)

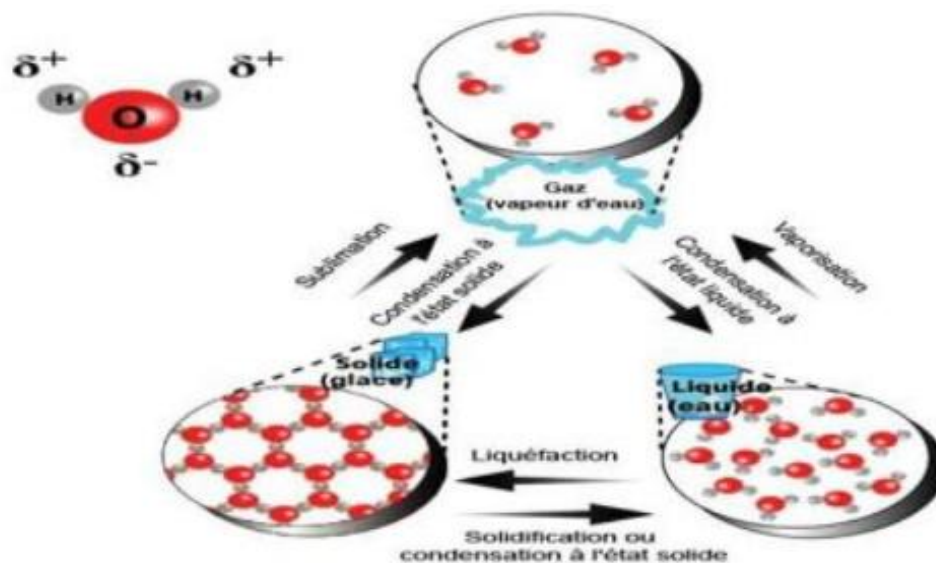


Figure I.1 : Etats physiques de l'eau (Boukhadra,2023).

L'eau à l'état naturel (qu'elle soit de surface, souterraine ou saline) n'est jamais réellement « pure » ; c'est un environnement vivant qui accumule une multitude d'éléments au contact des milieux qu'elle traverse et sur lesquels elle s'écoule (Degreument, 2005).

I.1.3. Cycle d'eau

L'eau, qui est essentielle à la vie terrestre, joue également un rôle central dans le transport de tous les composants minéraux et organiques (**Fig. I.2**). Elle s'évapore des océans et y revient sous forme de pluie. Le soleil fait s'évaporer l'eau des rivières, des lacs, des mers, des océans en de fines gouttelettes. En se regroupant, elles forment des nuages qui, poussés par le vent, rencontrent des masses d'air froid et donnent naissance à la pluie.

L'eau de pluie s'infiltrate dans le sol et rejoint les nappes phréatiques, les sources, les rivières, les fleuves, pour recommencer sans fin le même voyage (Aouissi et Merabti., 2019).

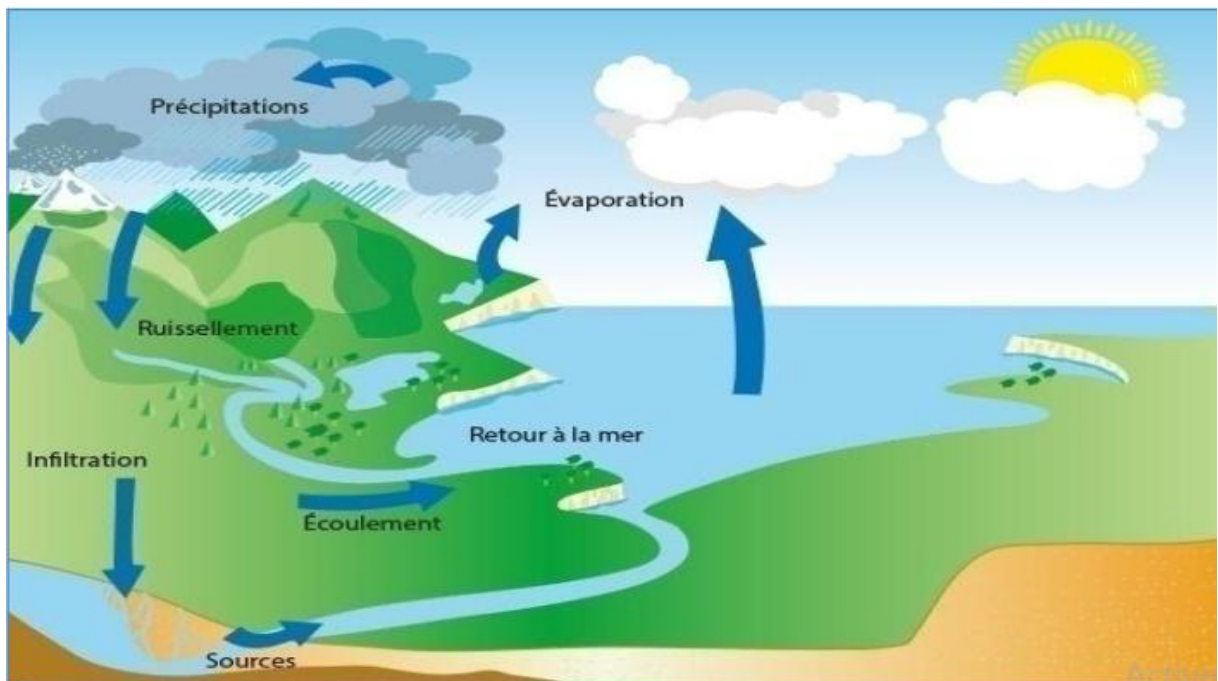


Figure I.2 : Cycle de l'eau dans la nature (CIE, 2013).

I.1.4. Sources de l'eau :

Pour répondre à ses besoins en eau et soutenir son utilisation dans diverses activités industrielles et agricoles, l'homme se tourne généralement vers trois types de ressources naturelles :

- Les eaux souterraines,
- Les eaux de surface, telles que les rivières, fleuves et lacs,
- Les eaux salées, comme celles de mer et saumâtres

I.1.4.1. Les eaux souterraines

L'humanité puise principalement sa source d'eau douce dans les eaux souterraines. 30% de l'eau douce mondiale se trouve dans les eaux souterraines. Le reste est composé des calottes glaciaires (69%) et des rivières et lacs (1%) [1]. La principale source de l'eau souterraine est l'infiltration de l'eau de pluie, qui, en traversant les strates souterraines, parvient aux nappes aquifères. La composition chimique de l'eau souterraine est fortement dictée par la nature géologique du sol. Elles proviennent des eaux de surface qui s'infiltrent à travers les diverses strates du sol et atteignent la nappe phréatique. Ce processus naturel de filtration assure la purification de l'eau [2].

Les eaux souterraines désignent toutes les eaux qui se situent sous la surface terrestre, dans la zone de saturation et qui sont en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles se distinguent par une faible turbidité ou bénéficient d'une filtration naturelle significative (Chelli et Djouhri, 2013). Elle est généralement protégée des sources de pollution, ce qui lui confère une faible contamination bactérienne. En conséquence, la dureté est importante et les eaux souterraines peuvent interagir avec des formations rocheuses qui renferment des métaux à deux valences comme le calcium ou le magnésium. En outre, le fer et le magnésium montrent une forte concentration dans les eaux souterraines (Degremont, 2005).

I.1.4.1.1. Notion de nappe d'eau souterraine

Une **nappe d'eau souterraine** (Fig.I.3) désigne une accumulation d'eau se trouvant dans les interstices, les fissures ou les pores des formations rocheuses du sous-sol (Custodio & Llamas, 1983). Contrairement à l'idée de rivières ou de lacs souterrains, l'eau des nappes phréatiques n'est

Chapitre I: Synthèse Bibliographiques

pas librement visible : elle est stockée dans les vides des roches perméables saturées par l'infiltration des eaux de pluie (Margat & van der Gun, 2013).

On distingue deux zones principales dans le sous-sol :

- La **zone non saturée**, située dans la partie supérieure des terrains, où les pores contiennent à la fois de l'eau et de l'air. Dans cette zone, l'eau n'est présente que sous forme d'humidité résiduelle.
- La **zone saturée**, où tous les interstices (pores, fissures ou fractures) sont entièrement remplis d'eau. C'est cette zone qui constitue la nappe phréatique proprement dite et permet l'exploitation de l'eau souterraine à travers les puits et forages (Fetter, 2001).

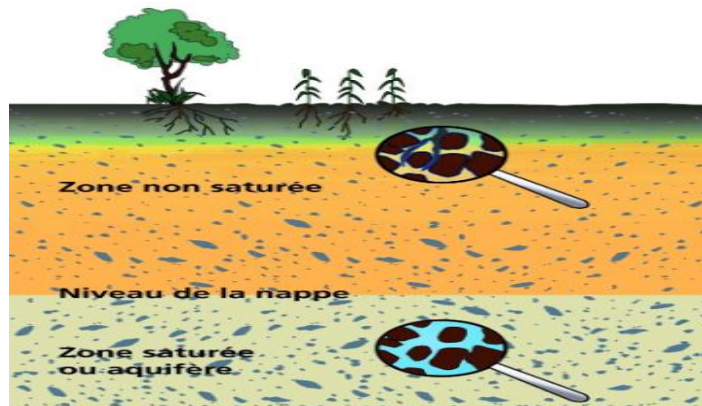


Figure I.3 : Schéma distinctif zone non-saturée et zone saturée [3]

Une nappe est donc l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère.

I.1.4.1.2. Différents types de nappes :

➤ La nappe libre :

Ces nappes d'eau souterraines se trouvent dans des roches poreuses telles que le sable, la craie et le calcaire, qui ont été déposées en vastes couches au fil du temps. Elles sont appelées "nappes libres" car la surface supérieure de l'eau peut fluctuer librement, sans être contrainte **par une couche imperméable au-dessus du réservoir**. L'eau de pluie peut s'infiltrer et alimenter ces nappes sur toute leur surface, et elles sont généralement peu profondes (Rouha et Otsmane, 2020).

Chapitre I: Synthèse Bibliographiques

➤ La nappe captive

Ces nappes se forment dans les mêmes types de roches que les nappes libres, mais elles sont recouvertes **par une autre couche géologique imperméable qui emprisonne l'eau**. Cette eau se retrouve alors sous pression, ce qui peut provoquer des jaillissements dans les forages appelés artésiens. L'alimentation de ces nappes est limitée aux zones d'affleurement ou se fait par une diffusion extrêmement lente à travers les grandes surfaces de contact avec les roches avoisinantes, qui ne sont jamais totalement étanches. Dans les déserts, ces nappes sont considérées comme fossiles, car leur recharge est infime, ce qui en fait des réserves d'eau épuisables. Les nappes captives se situent généralement à des profondeurs importantes (Rouha et Otsmane, 2020).

➤ Les nappes alluviales

Les alluvions formées par les grands épandages de sables et graviers des fleuves et des rivières constituent des réservoirs localisés et continus, reposant sur d'autres roches de type indifférent. Elles sont le lieu privilégié des échanges entre les cours d'eau et les autres grandes nappes des coteaux (nappes libres). C'est à travers ces nappes alluviales que les grands flux issus des nappes libres rejoignent les rivières. Parfois, ce sont les rivières qui cèdent de l'eau aux nappes alluviales. Ce phénomène est rare mais habituel dans les oueds des pays arides (Rouha et Otsmane, 2020).

➤ Les nappes des roches dures fissurées :

Ces formations rocheuses (**Fig.I.4**) représentent un type de réservoir aquifère dont la capacité est limitée, mais qui s'avère particulièrement utile pour les petites communautés et les agriculteurs. La partie supérieure altérée et superficielle de ces roches constitue généralement le réservoir principal, tandis que les fissures et fractures présentes dans la roche dure sous-jacente offrent des voies de circulation pour l'eau. Lors de l'exploitation de ces ressources, les forages ciblent ces réseaux de fractures, bien que la réserve d'eau se situe souvent à faible profondeur. Il est important de noter que ces nappes, à l'instar d'autres types de réserves souterraines, sont vulnérables à la pollution (Rouha et Otsmane, 2020).

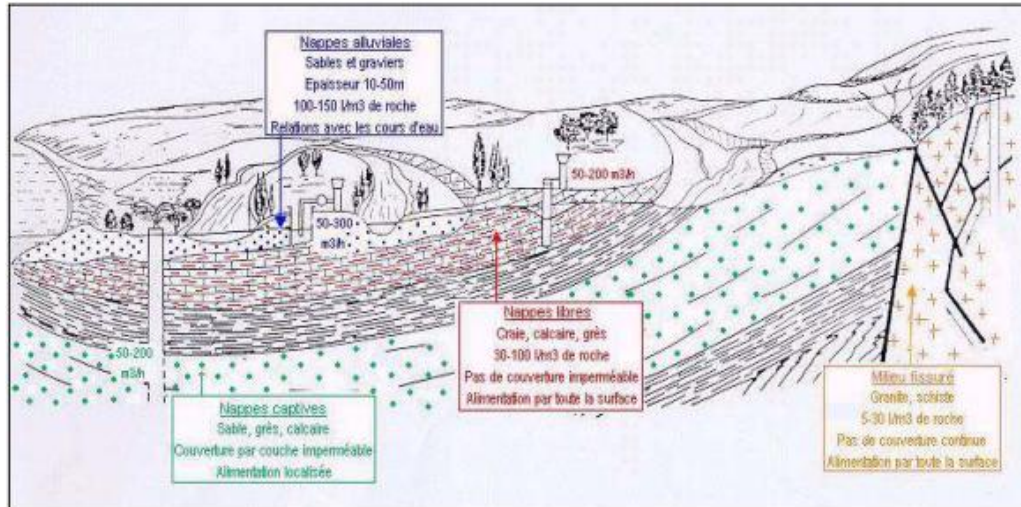


Figure I.4 : Schéma représente les différents types de nappes [3]

I.1.4.2. Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement (Boeglin, 2001)

I.1.4.2.1. Comparaison entre les eaux souterraines et les eaux de surface :

Les eaux de surface sont plus chargées de matières en suspension que les eaux souterraines, ainsi que des substances colloïdales et du plancton animal et végétal. On considère souvent les eaux souterraines comme étant naturellement pures, ce qui est une erreur (Tabl.I.1). En effet, elles contiennent fréquemment du fer, du manganèse, de l'ammoniaque et des substances organiques, sans oublier une concentration élevée en fluor et en nitrates (Kettab.,1992).

Chapitre I: Synthèse Bibliographiques

Tableau I.1 : Comparaison entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Bourrier et Selmi., 2011).

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux Souterraines
Température	Variable suivant les saisons	Relativement constante
Turbidité, MES	Variable, parfois élevée	Faible ou nulle
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets.	Constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
CO ₂ agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité.
Oxygène dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées.	Absent dans la plupart du temps.
NH ₄ ⁺	Présent seulement dans les eaux polluées.	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Peu abondant en général	Teneur parfois élevée.
Micropolluants minéraux et organiques	Présents dans les eaux de pays développés mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogénies), virus, plancton.	Ferro bactéries fréquentes

I.1.4.3. Les eaux marines et les eaux saumâtres :

Ces eaux se distinguent par un taux élevé de salinité. Les caractéristiques physiques varient considérablement selon les origines (mer ouverte, estran, estuaire) : on y trouve des variations de turbidité, de matières en suspension, d'abondance du plancton, de concentration en sable, de pollution due à des déversements urbains ou industriels, d'influence des rivières, d'impact des marées et de température de l'eau, entre autres. En raison de sa haute teneur en sels, l'eau de mer n'est pas buvable et nécessite une désalinisation complexe (Lakhal, 2021).

I.1.5. Normes de la qualité de l'eau

Pour déterminer de manière constante l'eau potable, des normes ont été établies. Celles-ci précisent notamment (Tabl.I.2) les concentrations maximales à ne pas excéder pour divers composés nocifs qui pourraient être présents dans l'eau. En général, les caractéristiques de l'eau potable doivent respecter des normes établies par la législation nationale. Pour un pays ou une

Chapitre I: Synthèse Bibliographiques

région spécifique, il se peut que les régulations concernant la qualité de l'eau diffèrent de celles des normes internationales (OMS, 1994).

En Algérie, des normes locales régissent la qualité de l'eau potable en se référant au Journal Officiel de la république algérienne. Ce dernier définit les seuils limites pour divers paramètres physico-chimiques concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (Jora, 2011).

Tableau. I.2 : Normes OMS des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable. (OMS.1998).

Substances	Unité	Norme OMS
Calcium	mg/ l	270
Magnésium	mg/ l	50
Chlorure	mg/ l	250
Ph		$6.5 \leq \text{Ph} \leq 8.5$
Dureté	mg/ l	500
Conductivité	$\mu\text{s}/\text{cm}$	2800
Ammonium	mg/ l	1.5
Potassium	mg/ l	$10 \leq \text{K}^+ \leq 15$
Fer	mg/ l	0.3
Nitrate	mg/ l	50
Nitrite	mg/ l	0.5
Sulfate	mg/ l	250
Minéralisation TDS	mg/ l	1000
Aluminium	mg/ l	0.2
Bicarbonates	Mg/l	Aucune Norme légale
Ammoniac	mg/ l	0.50
Sodium	mg/l	150

I.2. Pollution de l'eau

L'homme et ses activités provoquent une altération physique, chimique, biologique ou bactériologique des qualités naturelles de l'eau, ce qui constitue une pollution. Elle perturbe les conditions d'existence de la flore et de la faune aquatiques. La dégradation des ressources hydriques due aux rejets d'eaux contaminées peut non seulement nuire considérablement à l'environnement, mais également conduire à des risques de manque d'eau (Zeghoud, 2014).

I.2.1. Origine de pollution

- **La pollution urbaine :**

Elle est généralement véhiculée par le réseau d'assainissement. Elle se caractérise par des germes fécaux, de fortes teneurs en matière organique, de sels minéraux et des détergents (Gaujous, 1995).

- **La pollution industrielle :**

Les industries produisent une large gamme de polluants comme des métaux (plomb, cadmium, Zinc...etc.), des résidus pétroliers et des micropolluants organiques. Leur rejet sous forme liquide peut contribuer localement à la contamination des eaux souterraines (Zamiche, 2019).

- **La pollution agricole**

Une des principales causes de l'eutrophisation des ressources en eau est l'agriculture, qui est une source de pollution importante, car elle utilise des fertilisants et des pesticides. Elle est la cause essentielle de la plupart des formes d'eutrophisation de l'azote. Les eaux agricoles provenant des terres cultivées, qui sont chargées de fertilisants contenant de l'azote et du phosphore, sous forme ionique ou en quantités si importantes qu'elles ne seraient pas absorbées par le sol et la végétation, entraînent une augmentation de l'eutrophisation par l'azote ou le phosphore à cause du ruissellement de surface vers les eaux souterraines les plus superficielles et les cours d'eau tels que les rivières (Said, 2012).

I.2.2. Cycle de l'azote

L'azote est un élément essentiel pour la croissance et le développement des végétaux. Il est naturellement présent dans l'environnement sous différents formes (**Fig.I.5**) :

- les ions : nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) et l'ammonium (NH_4^+) ;
- les gaz : ammoniac (NH_3), diazote (N_2), protoxyde d'azote (N_2O), dioxyde d'azote (NO_2), monoxyde d'azote (NO) ;
- l'azote organique (ex : protéines).

Dans le sol, l'azote existe principalement en forme organique. La minéralisation et la nitrification sont des processus qui convertissent l'azote organique en azote inorganique, que les plantes peuvent assimiler (principalement sous forme de nitrates). Il existe plusieurs sources de nitrates dans les eaux de surface et souterraines. Sa présence peut être due à l'utilisation directe d'engrais azotés, aux dépôts atmosphériques, ou encore à la nitrification de composés azotés et aux rejets d'eaux usées (domestiques ou provenant de l'élevage) (Briand, 2014).

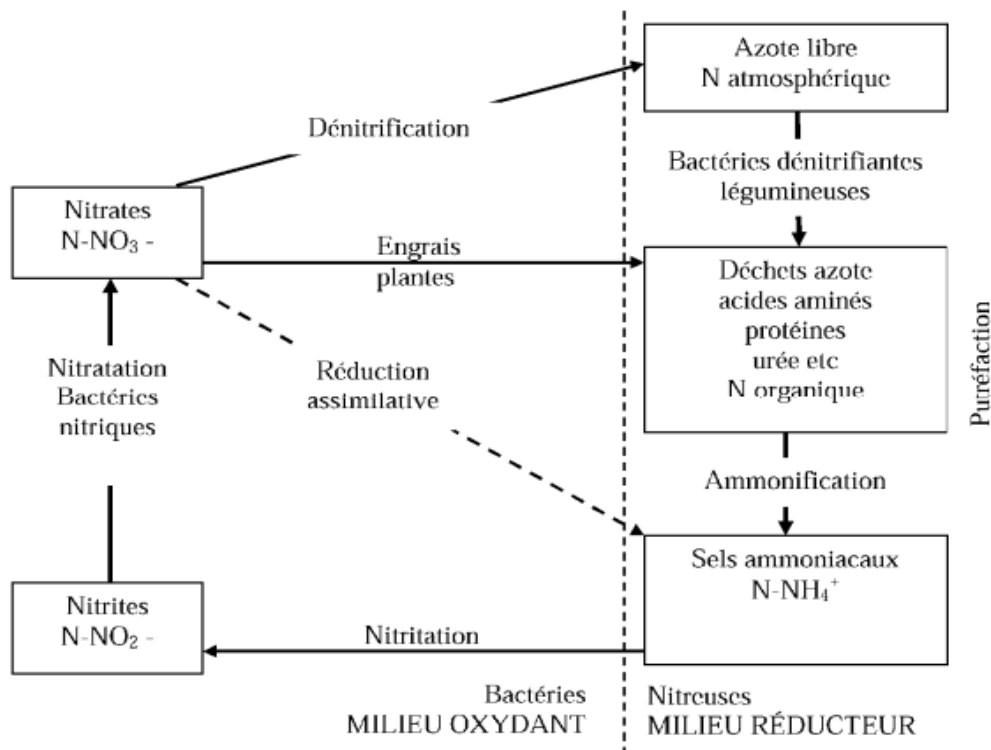


Figure I.5 : Cycle de l'azote (Metahri, 2012).

I.3. Les nitrates :

Les nitrates sont des composés chimiques qui proviennent de la fixation de l'azote atmosphérique et de la décomposition de la matière organique par des microorganismes. Ils constituent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles, et constitue la composante principale de l'azote inorganique (N-Inorganique) ou minéral (N-Minéral), lui-même inclus majoritairement dans l'azote global (NGL) ou azote total (NT) avec une autre composante, l'azote organique (N-Organique) (Rodier *et al.*, 2009).

I.3.1. Origine des nitrates dans les eaux :

Les nitrates existent dans les eaux à l'état naturel en absence de pollution. Leur concentration, alors n'excède en général pas 3 mg/l à 5 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines. Les teneurs en nitrates sont en augmentation ces dernières années. La progression dans les eaux souterraines est couramment de 0,5 à 1 mg/l/an et peut atteindre 2 mg voire plus. Une situation voisine se rencontre dans les eaux superficielles (Mary, 1992). L'augmentation des teneurs des composés azotés traduit une pollution de la ressource, liée aux activités humaines et en particulier aux activités de surface. Le transfert des nitrates dans les sols résulte d'un grand nombre de facteurs interdépendants (Mollard *et al.*, 1998) :

- Facteurs climatologiques (importance des précipitations, leur répartition dans le temps, températures) ;
- Facteurs agrologiques (propriétés physico-chimique, hydrodynamiques et microbiologiques des sols) ;
- Facteurs agronomiques (type de cultures, travaux culturaux, niveau de fertilisation, couverture végétale, profondeur d'enracinement).

Les conditions d'interaction de ces facteurs peuvent conduire à des situations plus ou moins favorables à la lixiviation des nitrates (Bel *et al.*, 1999). Ainsi, selon certains travaux d'agronomes (Mary, 1992 ; Addiscott *et al.*, 1991), les niveaux élevés de pollution nitrique observés résulteraient d'un accroissement de la capacité de minéralisation des sols sous l'effet cumulatif de pratiques culturales intensives.

I.3.2. Pollution par les nitrates :

Dans les eaux naturelles non polluées, le taux des nitrates est très variable (de 1 à 15 mg/l) suivant la saison et l'origine des eaux. Leur concentration alors, n'excède pas en général 3mg/l à 5 mg/l dans les eaux superficielles et quelques mg/l dans les eaux souterraines (Ratel, 1992). Le risque de contamination est plus important si le sol recouvrant la nappe d'eau est vulnérable (ex : sablonneux) et si la nappe est peu profonde (puits de surface) (Collinn, 2004).

Sur le plan sanitaire, les nitrates ne sont pas toxiques, mais ce n'est qu'à deux conditions que peut se révéler une toxicité des nitrates : s'il y a ingestion vraiment massive de ces composés ou s'ils sont transformés en nitrites par la microflore digestive au sein de l'organisme (Ratel, 1992).

I.3.3. Les risques sanitaires liés aux nitrates :

a) Risque de méthémoglobinémie (ou syndrome du bébé bleu) :

Dans certaines conditions, l'organisme humain réduit les nitrates en nitrites (OMS, 2008). Ces nitrites, dans le sang, transforment l'hémoglobine en méthémoglobine non fonctionnelle, incapable de céder l'oxygène aux tissus, ce qui provoque une sorte d'asphyxie due à une modification du système de transport de l'oxygène dans le sang (Ratel, 1992 et Idrissi, 2006). C'est le syndrome des "enfants bleus", la méthémoglobinémie.

Les symptômes de cette maladie sont notamment la cyanose (décoloration bleutée de la peau et de la bouche), la dyspnée et l'asthénie (Idrissi, 2006).

b) Risque cancérigène :

Les nitrates sont susceptibles de présenter un risque lié à leur transformation en nitrites et éventuellement en nitrosamines dans le tractus digestif. Les propriétés carcinogènes de ces substances ont été découvertes il y a un demi-siècle (Magee, 1956 et Magee, 1967). Les études épidémiologiques et toxicologiques n'ont pas mis en évidence de relations certaines entre ingestion de nitrates et risque de cancers. Cependant, les tests chez de nombreuses espèces animales ont montré l'effet carcinogène d'un grand nombre de nitrosamines (WHO, 2003)

I.4. Fertilisation et changement climatique

En fait, l'utilisation d'engrais azotés se développe vigoureusement à l'échelle mondiale et devrait augmenter plusieurs fois d'ici 2050, avec un pic dans les pays en développement (Tillman *et al.*, 2002). Bien que les engrais azotés soient nécessaires pour accroître la production végétale, leur utilisation excessive est à l'origine de la principale source d'émissions d'oxyde nitreux dans l'environnement, un gaz à effet de serre important impliqué dans les problèmes environnementaux découlant du changement climatique (Chauhan *et al.*, 2012). De plus, l'application intensive d'engrais perturbe les cycles naturels des éléments nutritifs du sol, tels que le carbone, l'azote, le phosphore et le soufre, ce qui accentue les risques environnementaux (Flessa *et al.*, 2002 ; Jarecki *et al.*, 2008).

Les principaux risques environnementaux associés aux engrais comprennent les émissions de gaz à effet de serre, y compris le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitreux, qui contribuent au réchauffement climatique et aux changements climatiques (Adesmoye et Kloepper, 2009 ; Flessa *et coll.*, 2002). En outre, le N₂O est un facteur clé de l'appauvrissement de la couche d'ozone (MA *et al.*, 2010). De plus, les émissions d'ammoniac et d'oxydes d'azote provenant des engrais et des déchets animaux entraînent l'acidification du sol et la contamination des eaux souterraines et des ressources en eau de surface (Norse, 2003 ; Vance, 2000).

Chapitre II :

Matériels et Méthodes



Figure.II.2 : Situation géographique de la région de Bordj Snouci.

II.3. Aperçu Géologique et Hydrogéologique :

Afin d'approfondir notre connaissance des aspects géologiques et hydrogéologiques de la zone analysée, nous avons réalisé un stage pratique de 6 jours, aux côtés de Mme BENTAHAR et d'étudiants en géologie (Master I Bassins sédimentaires) de l'Université de Tizi Ouzou. Ce stage nous a offert l'opportunité de développer une compréhension détaillée de la géologie de l'Atlas Saharien et la géologie de notre zone d'étude par le biais d'observations pratiques et d'études sur le terrain.

II.3.1. Aperçu Géologique

II.3.1.1. Cadre géologique de l'Atlas Saharien :

L'Atlas Saharien constitue une chaîne de montagnes au sein du continent, reconnaissable par son altitude modeste et sa forme étirée, qui s'étend depuis la partie haute de l'Atlas marocain jusqu'à la Tunisie. Elle offre une vue d'ensemble de vastes prairies séparées par de longues collines aiguës et disposées en ligne. . Cette chaîne est composée de formations argilo- gréseuses et carbonatées fortement fissurées, principalement structurées au cours du cycle alpin ([Chettih, 2007](#)).

On peut subdiviser l'Atlas saharien en trois zones géographiques, de l'ouest vers l'est :

L'unité occidentale, composée des Monts des Ksour (Ain-Sefra).

L'unité centrale, dominée par le Djebel Amour (El Bayadh).

Chapitre II : Matériels et Méthodes

L'unité orientale, occupée par les Monts des Ouled Naïl (Les Aurès) (Elberrichi et Lefkiri, 2017). La géologie de l'Atlas saharien est formée essentiellement par des terrains attribués au Secondaire, allant de l'âge Trias au Crétacé supérieur (Chettih., 2007).

La structure de la région de Laghouat est divisée en deux domaines principaux : le domaine Atlasique au nord et le domaine saharien au sud, la séparation entre ces deux zones étant assurée par la Flexure Sud Atlasique. (Hannachi ,1981).

La Flexure Sud Atlasique : Cet accident sépare l'Atlas Saharien du Sahara, est une structure tectonique majeure qui s'étend sur environ 1500 km à travers le Maghreb, du Maroc à la Tunisie, en passant par l'Algérie. Plus précisément, cet accident est formé par des Calcaires dolomitiques du Turonien (étage du Crétacé supérieur), Marnes du Cénomanién (étage du Crétacé supérieur) cette séparation est visible dans le Kef Seridja (**Fig.II.3**) au Sud de la ville de Bordj Snouci. (Hannachi ,1981).



Figure II.3 : accident Sud Atlasique de Kef Seridja (Originale, 2025)

Afin de réaliser notre but, nous avons effectué diverses sections stratigraphiques sur le site, s'appuyant sur l'étude et la caractérisation des composantes géologiques qui imprègnent les strates.

II.3.1.2. formations étudiées:

a) **La série de El Bayadh** : composée de 3 formations

- La première formation constitue les argiles de Kef l'Aouidja (500 m).
- La deuxième formation est une zone de passage composée d'une alternance de 7 séquences de grès et d'argiles attribués à l'Oxfordien (150 m).
- La troisième formation est composée de grès et de dolomies de Kerakda de l'âge Oxfordien (800 m).

➤ **Formation de Laouidja :**

Elle est formée par une succession de trois séquences de second ordre, présentant une lithologie en progression de type grano-stratique. Cette séquence se distingue par une succession de strates d'argiles verdâtres à la base et de grès au sommet.

- ✓ **1ère séquence** : une combe argileuse surmontée de grès à insertion calcaire montre des marques d'activité, bioturbation de brachiopode, lamellibranche. En termes de structure, on retrouve des rides à la base : des mégas rides. Les grés sont en cordon, représentant la forme contraire du chenal qui dénote la présence de cordon (base d'embouchure). On se trouve dans la zone côtière, comme l'indiquent les strates géologiques et la faune.
- ✓ **2ème séquence** : combe argileuse a banc légèrement arqué surmonté de grés a méga-ride au sommet une surface durcique noir indique la fin de la séquence : accumulation d'oxygénation, fin du 1er chenal engendre une émergence et un ralentissement.
- ✓ **3ème séquence** : une alternance de grès et d'argile, un large banc d'argile intercalé avec du calcaire surmonté d'un dense banc de grès à base arquée lenticulaire, présente des éclats et une surface d'oxydation. Le sommet de surface durcie indique la fin de la séquence et l'arrêt des opérations du canal. La présence de couches planes à la base, vers le sommet des rides de courant avec stratification inclinée indique que nous sommes dans la section supérieure du Pro-Delta (Berkat, 2020).

La formation argileuse d'el AOUIDJA se termine par trois bancs de calcaire gréseux (**fig.II.4**)

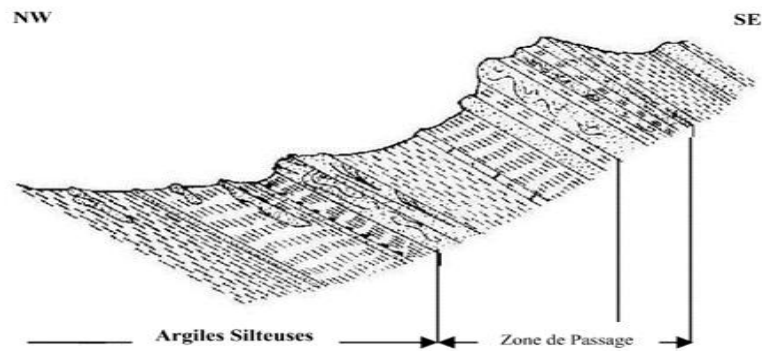


Figure II.4 : Coupe schématique de djebel Laouidja (Chettih, 2007).



Figure II.5 : la formation de Laouidja (Originale, 2025).

b) La série de Brezina : attribué au Kimmeridgien inférieur, composée de 3 formations

- La formation des calcaires à polypiers de Djebel l'Azreg (300 m).
- La formation de grès de Seklafa (300 m).
- La formation des grès et des argiles rouges de Kourdane (350 m au maximum).

➤ **Formation de calcaire à polypier :**

Il s'agit d'une série d'âge Kimméridgien inférieur, à stratification granulaire croissante, délimitée par des surfaces durcies. Elle débute avec des bancs calcaires à silex dolomités (**Fig.II.6**), abondamment peuplés d'une faune diverse (polypier en forme de branche et en colonie, encrustements d'algues, gastéropodes et bivalves) qui sont délimités par une combe marneuse de

teinte verte, dont la surface présente des ondulations et des diaclases. La série se termine par des grès verts et grossiers à lamelles planes, vagues et ondulations, ainsi que des structures entrecroisées.



Figure II.6 : Calcaires à polypiers (Originale, 2025).

c) La série de Laghouat : attribué au Kimmeridgien supérieur

➤ Formation de MILOK :

Au niveau du Crétacé inférieur, commence la coupe de Djebel Milok (**Fig.II.7**) qui a les mêmes caractéristiques géologiques que notre zone d'étude.



Figure II.7 : Djebel el Milok (Originale ,2025).

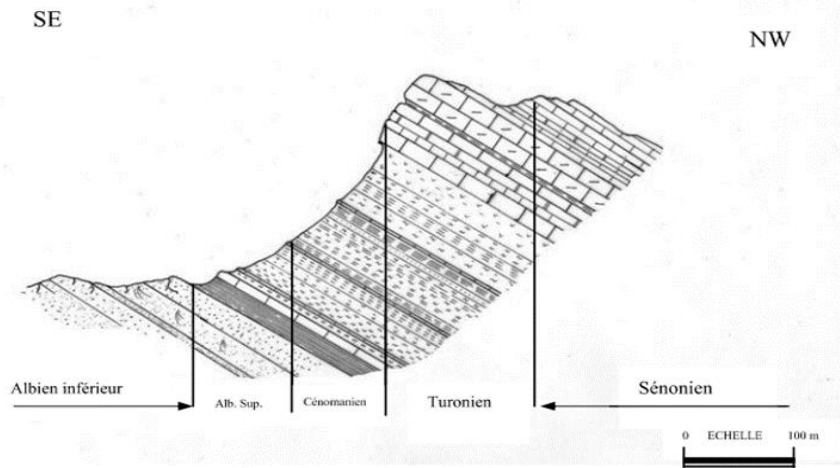


Figure II.8 : Coupe schématique de djebel Milok (Chettih,2007).

- **Barrémien** : une succession de grès et argile, avec une diminution graduelle de la taille du grain. Grès blanc friable, strié avec des dragées de quartz à stratification inclinée, présentant au sommet des marques de galet argileux. Les dragées de Quartz indiquent un flux fluvial extrêmement violent. Une rupture vers le pic indiquée par les silicrêtes, présence de kerboubs.



Figure II.9 : grès et argile (Originale,2025).

- **Aptien** : représenté par des dépôts d'argile versicolore gypseux à intercalation carbonatée, indique un milieu lacustre.
- **Albien** : essentiellement gréseux, massif, rougeâtre donc chenaux assez larges, vers e haut marneux gypseux à stratification oblique et présence de stromatolithe.

- **Albien inférieur** : composé de grès à dragées de quartz
- **De l'Albien supérieur jusqu'au Cénomani** : ce sont des formations marno-calcaires (100 m) et de marnes gypseuses (140 m)
- **Cénomani- Turonien** : représenté par des dépôts carbonates à marne et gypse, une alternance calcaire marne indique une hausse eustatique donc un développement vers la plateforme externe. Présente des dessiccations, stromatolithe, tepee ([Berkat, 2020](#)).

Au Turonien on a trouvé du calcaire à silex, Au Sénonien composé des formations des calcaires dolomitiques.



Figure II.10 : calcaire à silex et dolomitiques ([Originale,2025](#)).

II.3.2. Aperçu Hydrogéologique

II.3.2.1. Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations à Laghouat :

Selon l'étude de [Hannachi \(1981\)](#), les propriétés hydrogéologiques, notamment la capacité de stockage et de production d'eau souterraine, des différentes formations géologiques de la région de Laghouat sont les suivants :

a. L'Albien : Ici, cette formation est principalement de nature détritique et gréseuse. Elle présente une fracturation notable. Des couches argileuses importantes s'intercalent à sa base et à son sommet, définissant ainsi une unité aquifère capable de fournir des débits d'eau considérables.

b. Le Cénomaniens : Ce niveau est constitué de roches marno-calcaires, de marnes et de calcaire. Les bancs calcaires s'y présentent sous deux formes :

- Des bancs épais (d'un mètre) individualisés au sein de la formation marneuse.
- Des bancs minces, souvent peu fracturés et colmatés par des sédiments marneux ou gypseux.

Ce niveau est généralement considéré comme imperméable à l'eau.

c. Le Turonien : Il est essentiellement composé de roches calcaréo-dolomitiques. On le rencontre fréquemment en bancs épais et il peut retenir de l'eau dans ses fissures.

d. Le Sénonien : Cette formation se distingue par des dépôts d'origine lagunaire (marnes, gypse et calcaires sublithographiques) qui sont absolument imperméables.

e. Le Mio-Pliocène : Il s'agit d'une formation détritique, composée d'argile, de sable, de grès et de calcaire. Les données issues des forages réalisés dans le sillon pré-atlasique ont mis en évidence son importance et son potentiel en tant que bon aquifère.

f. Les alluvions quaternaires : Le nombre significatif de puits recensés en 1978 souligne l'intérêt hydrogéologique de ces dépôts. Ils sont constitués de galets, de sables et de graviers.

Il semble que les formations de l'Albien, du Turonien, du Mio-Pliocène et les alluvions quaternaires présentent le plus grand potentiel pour l'extraction des eaux souterraines dans cette région, tandis que le Cénomaniens et le Sénonien agissent comme des couches imperméables.

II.4. Echantillonnage et prélèvement :

Notre étude vise à évaluer les des nitrates des eaux souterraines de la nappe du Barrémien de 8 forages situés dans la région de Bordj Snouci, dans la wilaya de Laghouat. Pour mener à bien ce travail, nous avons suivi une formation pratique au laboratoire d'analyses des eaux de l'Agence Algérienne de l'Eau (ADE) Laghouat, en mettant particulièrement l'accent sur les analyses physico-chimiques, notamment le dosage des nitrates.

Chapitre II : Matériels et Méthodes

Les prélèvements d'eau ont été réalisés mensuellement pendant cinq mois, de Janvier à Mai 2025. Chaque échantillon a été prélevé directement à la sortie des tuyaux des forages (**Fig. II.11**). Afin de garantir la fiabilité des résultats, les flacons utilisés ont été soigneusement rincés à plusieurs reprises avec l'eau à analyser. Les échantillons ont ensuite été conservés à basse température jusqu'au moment des analyses et des mesures en laboratoire.



Figure II.11 : prélèvement d'un échantillon d'eau pour analyse ([Original, 2025](#)).

➤ **Matériels utilisés :**

Le matériel utilisé pour ces analyses comprend :

- Un appareil multi-paramètres
- Un conductimètre
- Des cuvettes
- Un spectrophotomètre
- Etuve
- Pipette graduée
- Bécher
- Agitateur

II.4.1. Analyses physico-chimiques :

Les paramètres physico-chimiques sont essentiels pour évaluer la qualité de l'eau et déterminer son aptitude à divers usages. Ils fournissent des informations sur la composition de l'eau et les

Chapitre II : Matériels et Méthodes

interactions entre ses différents constituants. Les analyses des éléments physico-chimiques ont été effectuées au laboratoire des analyses de l'ADE Laghouat, réalisées avec Monsieur, [Henniche Ahmed](#) (Chef de service au sein du laboratoire). Certains paramètres physiques ont été mesurés directement sur le terrain (**Fig.II.12**), notamment la température de l'eau, solides totales dissouts (TDS), le pH et la conductivité.



Figure II.12: Mesure de paramètres physiques sur terrain ([Originale, 2025](#)).

II.4.1.1. Paramètres physiques :

II.4.1.1.1. Mesure du pH

Le pH doit être mesuré sur le terrain en utilisant un pH-mètre ou par coloration ([Haslay et al., 1993](#))

➤ Mode opératoire

- Connecter l'appareil à une source d'alimentation électrique.
- Allumer l'appareil.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Prélever un volume précis de l'échantillon à analyser.
- Plonger l'électrode dans l'échantillon à tester.
- Démarrer l'appareil et appuyer sur le bouton de lecture. Attendre que l'appareil affiche une valeur stable pour terminer la mesure.
- Nettoyer soigneusement l'électrode avec de l'eau distillée et la sécher



Figure II.13 : mesure du PH (Originale, 2025).

II.4.1.1.2. Mesure de la conductivité électrique (CE) :

La mesure de la conductivité électrique, est probablement l'une des plus simples et plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux. Valeur inverse de la résistivité, paramètre très largement utilisé en hydrochimie, la conductivité est fonction de la concentration en espèces ionisés, principalement de nature minérale. La conductivité électrique est mesurée par un conductimètre.

➤ Mode opératoire

- Connecter la sonde spécifique au conductimètre.
- Allumer l'appareil.
- Avant la mesure, l'électrode a été soigneusement rincée plusieurs fois, d'abord avec de l'eau distillée, puis en la plongeant dans un récipient contenant l'eau à examiner.
- La mesure a été effectuée en veillant à ce que l'électrode soit complètement immergée.
- Les résultats de conductivité sont directement exprimés en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Les résultats de salinité et de taux de sels dissous (TDS) sont respectivement exprimés en ‰ et en mg/l (Rodier *et al.*, 2005)



Figure II.14 : Appareil multi-paramètre (Originale, 2025).

II.4.1.1.3. Le taux des sels dissous (TDS) :

La quantité des sels minéraux dissous influence la conductivité, la mesure qui permet de déterminer la quantité totale de sels minéraux dissous dans l'eau qu'est appelée le TDS. La mesure de la TDS se fait dans le laboratoire à l'aide d'un multi-paramètre, en mettant une quantité de l'eau à analyser dans un bécher et on mesure

II.4.1.2. Paramètres chimiques :

II.4.1.2.1. Dosage des nitrates (NO₃⁻) :

Nous avons dosé les nitrates dans les échantillons d'eau par spectrophotométrie en UV (Tardat et Beaudry, 1984 ; Rejsek, 2002) utilisant le spectrophotomètre UV/Visible

➤ Appareils utilisés :

- Etuve
- Spectrophotomètre U.V visible
- Béchers
- Pipettes
- Baro-magnétique
- Agitateur magnétique

Réactifs :

- Acide acétique 6 %

Chapitre II : Matériels et Méthodes

- Solution de salicylate de sodium 5 %
- Acide sulfurique H₂SO₄ concentré
- Solution de nitrure de sodium
- Solution de Hydroxyde de sodium Na OH
- Eau distillée
- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à 10 mg/l



Figure II.15 : Réactifs pour le dosage des nitrates (Originale, 2025).

➤ Mode opératoire

Prenez 10 ml de l'eau à tester, puis incorporez-y 4 gouttes d'acide acétique CH₃COOH. Par la suite, ajoutez 8 gouttes de nitrure de sodium NaOH. Puis, versez 0,5 ml de salicylate de sodium C₇H₅NaO₃. Les échantillons à analyser seront ensuite placés dans une étuve réglée à 110°C pour permettre une évaporation totale de l'eau. Une fois refroidis, incorporez 16 gouttes d'acide sulfurique H₂SO₄ aux résidus et laissez reposer pendant 10 minutes. Suite à cela, ajoutez 10 ml d'hydroxyde de sodium. Les échantillons seront alors analysés via un spectrophotomètre UV-visible (avec une longueur d'onde fixée à 415 nm). Les résultats seront affichés directement en mg/l



Figure II.16: Opération des dosages du nitrate

Chapitre III :

Résultats Et discussions

III. Résultats des analyses physico-chimiques :

III.1. Analyse physique :

III.1.1. Le potentiel d'hydrogène (PH) :

Le pH d'une eau indique son caractère acide ou alcalin; une eau est considérée comme neutre à un pH de 7, acide si le pH est inférieur à 7, et basique si le pH dépasse 7. C'est cependant l'un des critères les plus déterminants de la qualité de l'eau, associé aux caractéristiques des sols traversés, il fluctue généralement entre 7.2 et 7.6. Le pH des eaux fournies aux collectivités se situe généralement entre ces deux valeurs (Rodier, 2009). Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris entre 6 et 9.

Suite à nos analyses des eaux souterraines prélevées dans la zone de Bordj Senouci entre janvier et mai 2025 révèle que les valeurs du pH varient entre 7,36 et 8,49 (fig. III 1).

Tableau III.1 : Résultats des mesures du PH des eaux de la région de Bordj Senouci (période janvier-mai 2025).

	Janvier	février	mars	Avril	mai
F1	7.92	7.44		7.84	/
F3	7.69	7.48		8.06	8.41
F4	7.93	7.48		7.89	/
F5	7.96	7.36		8.09	8.4
F6	7.8	7.72		8.4	8.45
F7		7.76		8.41	8.49
F2	7.76	7.56		8.27	8.2
F8	8.05	7.68		8.41	8.3
Norme	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5

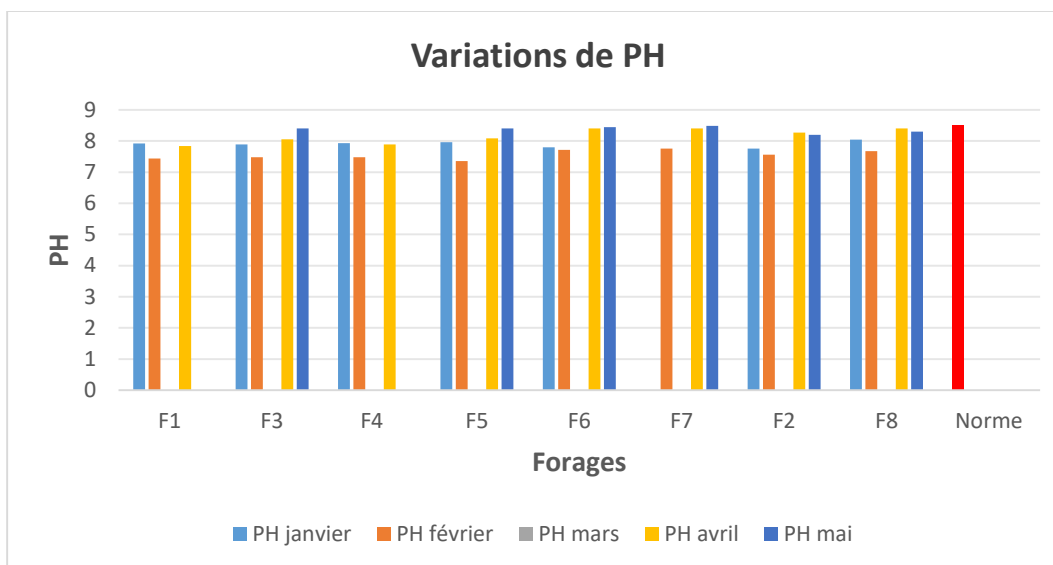


Figure. III. 1 : Variations de PH dans les forages de Bordj Senouci (période janvier_mai2025).

Ces résultats restent dans les limites établies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), dont la valeur recommandée maximale est de 8,5 (**Tableau.III.1**). De manière générale, le pH de l'eau dans cette zone est satisfaisant, sans besoin de correction chimique pour l'élever ou l'abaisser, notamment pour les forages **F6** (7,8–8,45), **F2** (7,76–8,2) et **F8** (8,05–8,3), qui ont su maintenir une stabilité appréciable au fil du temps.

Le forage **F7** a enregistré la valeur maximale en mai (8,49), frôlant ainsi le seuil normatif, tandis que le forage **F5** a noté la valeur minimale en février (7,36). D'autres forages comme **F4**, **F1** et **F2** ont également montré des valeurs constantes entre 7,44 et 8,41, respectant ainsi la norme et indiquant un équilibre chimique des eaux.

Ces légères variations de pH peuvent être dues à la structure géologique de la région, en particulier par la présence de calcaires dans les formations souterraines. Effectivement, le pH de l'eau est naturellement élevé lorsqu'elle entre en contact avec les couches riches en carbonates ou en marnes calcaires, ce qui conduit à une eau neutre à légèrement alcaline, comme le démontrent les valeurs relevées.

De manière générale, le pH de l'eau prélevée à Bordj Snouci se situe dans les normes admises, ce qui indique qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser des produits correcteurs pour l'ajuster. Ainsi, cette eau présente une acidité acceptable pour les usages courants.

II2I.1.2. La conductivité électrique (CE) :

III.1.2.1. Interprétation hydrochimique de la conductivité électrique des eaux souterraines de Bordj Snouci :

La **conductivité électrique (CE)** constitue un indicateur fondamental de la qualité physico-chimique des eaux souterraines. Elle reflète la **concentration totale des ions dissous** (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), témoignant ainsi du niveau de **minéralisation** de l'eau. Une CE élevée peut être associée à plusieurs facteurs, notamment :

- La **composition géologique** des formations traversées, particulièrement riches en minéraux solubles ;
- La **durée de séjour** de l'eau dans l'aquifère, qui favorise les échanges ioniques ;
- Les **remontées d'eaux profondes** ou salines ;
- Les **apports anthropiques**, en particulier issus des activités agricoles (engrais, amendements), domestiques ou industrielles (Kacim et al., 2016 ; Baali et al., 2020).

Analyse des résultats mensuels :

Les données relevées entre **janvier et mai** sur plusieurs forages de la commune de **Bordj Snouci** mettent en évidence une variabilité spatio-temporelle significative (**Tableau. III. 2; Fig. III.2**).

- **Janvier:**

Le forage **F5** présente une CE inférieure à la norme fixée à **2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , ce qui indique une eau **modérément minéralisée** et potentiellement potable. En revanche, les forages **F4(2940 $\mu\text{S}/\text{cm}$)** et **F6(3180 $\mu\text{S}/\text{cm}$)** enregistrent des niveaux **supérieurs à cette norme**, traduisant une **minéralisation élevée**, probablement liée à une **forte interaction eau-roche** ou à des **sources de contamination locale**, notamment agricoles.

- **Février:**

Des **variations sont observées** : les forages **F6** et **F7** montrent une CE **inférieure à la norme**, suggérant une **dilution par infiltration d'eaux de pluie**. À l'inverse, les forages **F1, F4 et F2** affichent des valeurs **élevées**, pouvant être dues à une **accumulation progressive de sels** ou à une **intensification des apports anthropiques**.

- **Avril:**

Tous les forages, sauf celui de **F4** restent **conformes à la norme**. Le forage **F4** enregistre **une CE de 4390 $\mu\text{S}/\text{cm}$** , soit bien au-delà des seuils acceptables. Cette anomalie s'expliquerait par sa **localisation géologique** : il se situe **à proximité de l'accident sud-atlasique**, où les eaux du **Barrémien** sont en contact direct avec les **argiles et marnes du Cénomanién**, connues pour leur richesse en sulfates et gypse (Nassah et al., 2017).

- **Mai:**

Une **diminution générale de la CE** est observée dans presque tous les forages, probablement liée à une **recharge naturelle de la nappe**. Aucune donnée n'est disponible pour **F4** ce mois-là, mais ses niveaux élevés antérieurs laissent penser que la **minéralisation y demeure importante**.

Interprétation globale :

Les résultats indiquent une **hétérogénéité hydrochimique marquée** au sein de la nappe du Barrémien dans la région de Bordj Snouci. Tandis que certains forages (**F5, F7**) offrent une eau relativement peu minéralisée, d'autres (notamment **F4**) affichent une **minéralisation excessive**.

Tableau. III.2. : Résultats des mesures du Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des forages de la région de Bordj Senouci (période Janvier-Mai 2025).

	Janvier	février	mars	Avril	mai
F1	2710	2950		2380	/
F3	2760	2690		2630	2490
F4	2940	2910		4390	/
F5	1810	1800		1810	1860
F6	3180	1460		1580	1670
F7		1170		1250	1140
F2	2750	2860		2620	2690
F8	2290	2420		2600	2400
Norme	2800	2800	2800	2800	2800

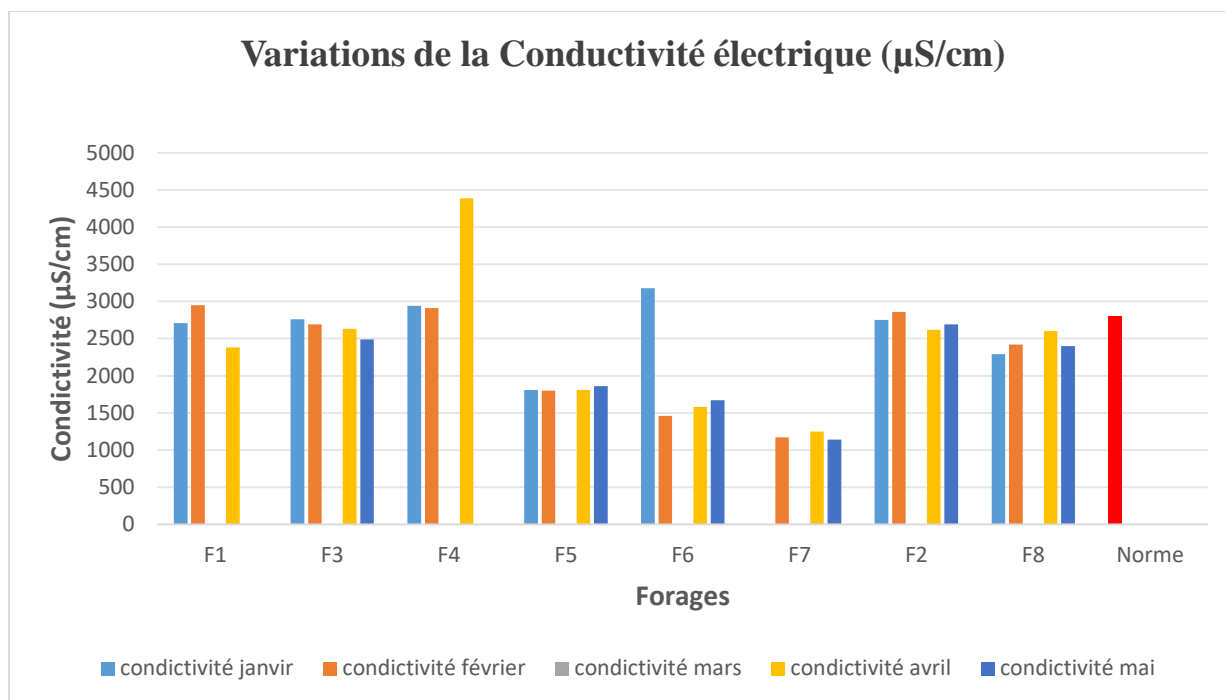


Figure .III.2 : Variations de la Conductivité électrique ($\mu\text{S/cm}$) enregistrés dans les forages de Bordj Senouci (période janvier_mai2025).

Ce graphique (fig.III.2) représentant l'évolution mensuelle de la conductivité électrique dans les forages de Bordj Snouci. On y observe :

- **Des valeurs constamment supérieures à la norme ($2800 \mu\text{S/cm}$)** pour le forage **F4**, atteignant un pic significatif en avril ($4390 \mu\text{S/cm}$).
- **Des niveaux de conductivité stables et inférieurs à la norme** pour **F5** et **F7**, suggérant une minéralisation modérée.
- **Une tendance à la baisse de la minéralisation** dans la majorité des forages entre janvier et mai, sauf **F4** (donnée manquante en mai).

Ce graphique illustre la variabilité spatiale et temporelle de la qualité de l'eau, influencée par la géologie locale et les activités anthropiques.

III.1.3. Le taux des sels dissous (TDS)

III.1.3.1. Interprétation hydrochimique des TDS à Bordj Snouci :

Les solides dissous totaux (TDS) représentent un indicateur clé de la minéralisation des eaux souterraines. Ils regroupent l'ensemble des substances minérales (ions comme Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et organiques dissoutes dans l'eau, et sont généralement exprimés en mg/L (Patrick, 2009). La valeur des TDS reflète à la fois les caractéristiques géologiques de l'aquifère et les influences anthropiques, telles que les apports en engrais, les rejets domestiques ou les infiltrations d'eaux usées.

Analyse des résultats :

L'étude des forages à Bordj Snouci sur la période allant de Janvier à Mai 2025 révèle des **variations notables des concentrations en TDS** selon les points de prélèvement :

TDS supérieurs à la norme (1 g/L) :

Cette élévation pourrait être due à :

- Une **prolongée interaction entre l'eau et les formations géologiques**, favorisant la dissolution de minéraux.
- Une **pollution diffuse liée aux activités agricoles**, notamment l'usage excessif d'engrais azotés ou phosphatés.
- Des **apports d'origine anthropique** comme l'élevage intensif ou les eaux usées mal traitées.

TDS conformes à la norme (< 1 g/L) :

- Les stations **F5** (valeurs stables entre 0,96 g/L et 1,01 g/L) et **F7** (valeurs faibles entre 0,61 g/L et 0,66 g/L) indiquent une faible charge ionique, suggérant :
- Une **minéralisation naturelle faible**, sans apports anthropiques significatifs.
- Une **recharge hydrique récente** par des eaux de pluie peu chargées en sels dissous.

Le forage **F6** montre une **diminution progressive** (de 1,69 g/L à 0,78 g/L), probablement due à un phénomène de **dilution saisonnière** ou à une **réduction ponctuelle des apports polluants**.

Conclusion :

Le TDS à Bordj Snouci met en évidence une **hétérogénéité spatiale de la qualité des eaux souterraines**. Les valeurs élevées dans plusieurs forages traduisent une **minéralisation excessive**, souvent liée à des facteurs anthropiques comme l’agriculture ou l’élevage. En revanche, certaines zones montrent une meilleure qualité, potentiellement protégées ou moins impactées.

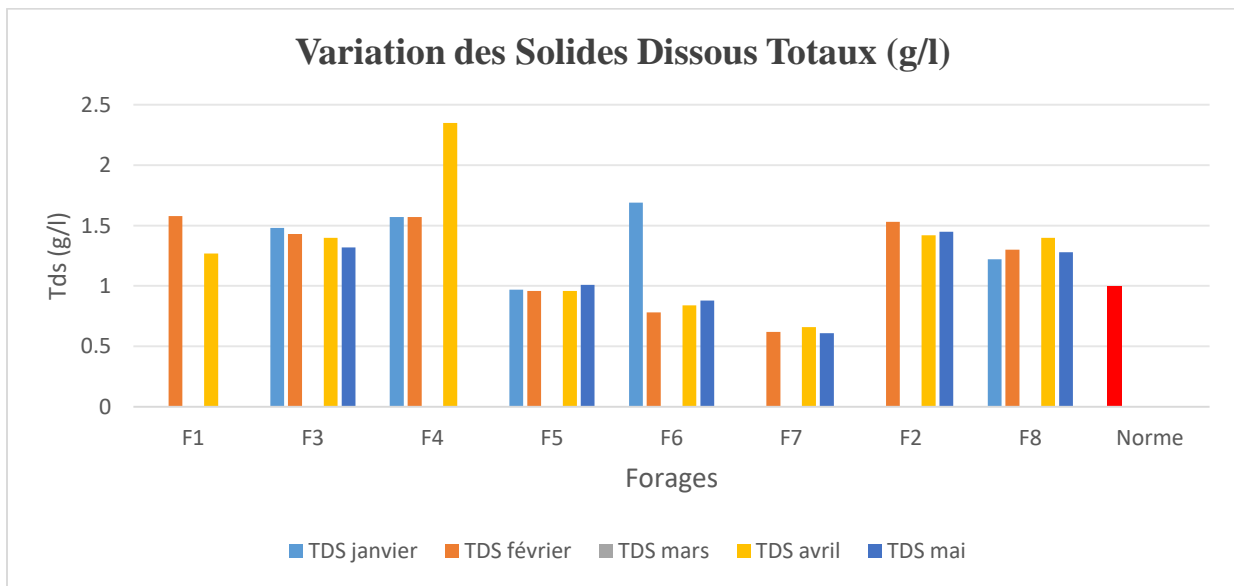


Figure. III. 3: Variation des teneurs de la TDS enregistrés dans les forages de Bordj Senouci (période Janvier-Mai 2025)

Le graphique (**fig.III.3**) illustrant l’évolution des TDS (Solides Dissous Totaux) dans les forages de Bordj Snouci entre janvier et mai 2025. Il met en évidence les dépassements de la norme de 1g/L dans plusieurs forages (notamment **F1, F4, F3 et F2**) et les fluctuations importantes observées dans certains cas comme **F6**. Ce visuel permet une meilleure lecture des variations spatiales et temporelles de la minéralisation dans la zone étudiée.

III.2. Analyse chimique

III.2.1. Définition des nitrates et origine :

Les nitrates (NO_3^-) sont des composés azotés résultant de l'oxydation de l'azote organique et de l'ammonium. Très solubles dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faibles concentrations dans les eaux de surface et souterraines. Toutefois, les activités humaines, notamment agricoles, en sont la principale source de contamination. L'utilisation intensive d'engrais azotés, l'épandage de fumier et les rejets d'eaux usées sont les facteurs les plus courants à l'origine de la pollution nitratée (Potelon & Zysman, 1998 ; Grosclaude, 1999).

Selon les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), la concentration maximale admissible en nitrates dans une eau destinée à la consommation humaine est de **50mg/L**.

III.2.1.1. Interprétation hydrochimique mensuelle des teneurs en nitrates (janvier à mai) :

Février : chute généralisée des nitrates

- **Explication hydrochimique :**

Cette baisse pourrait être liée à la dilution par les eaux de pluie hivernales et à une réduction temporaire des apports d'engrais. Le sol, saturé, perd temporairement sa capacité de transfert rapide vers la nappe. L'augmentation à **F3** pourrait résulter d'un épandage plus récent ou plus concentré dans cette zone.

Mars : stabilité relative avec légère baisse

En mars, les concentrations continuent de baisser dans la majorité des stations, notamment à **F6** et **F7**. Cependant, **F3** reste au-dessus de la norme malgré une légère diminution.

- **Explication hydrochimique :**

La poursuite de la baisse reflète probablement une moindre activité agricole en fin d'hiver, couplée à une stagnation de l'irrigation. La réduction de l'emploi d'engrais chimiques durant cette période favorise un ralentissement du transfert des nitrates vers les aquifères.

Mai : concentration record dans certains forages :

- **Explication hydrochimique :**

La combinaison d'une activité agricole intense, d'une utilisation massive d'engrais azotés, de températures plus élevées (favorisant la nitrification rapide) et de précipitations printanières crée un cocktail favorable à la migration rapide des nitrates vers la nappe. L'augmentation en mai suggère une recharge importante des nappes par les apports d'irrigation et d'eau de pluie, entraînant un fort lessivage.

Conclusion :

L'évolution mensuelle des concentrations en nitrates dans les eaux souterraines de Bordj Snouci met en évidence l'impact direct des pratiques agricoles et des conditions climatiques sur la qualité de la ressource. Les fortes charges observées en avril et mai sont préoccupantes pour la santé humaine et nécessitent la mise en place de stratégies de gestion durable (jachère, rotation des cultures, optimisation de la fertilisation).

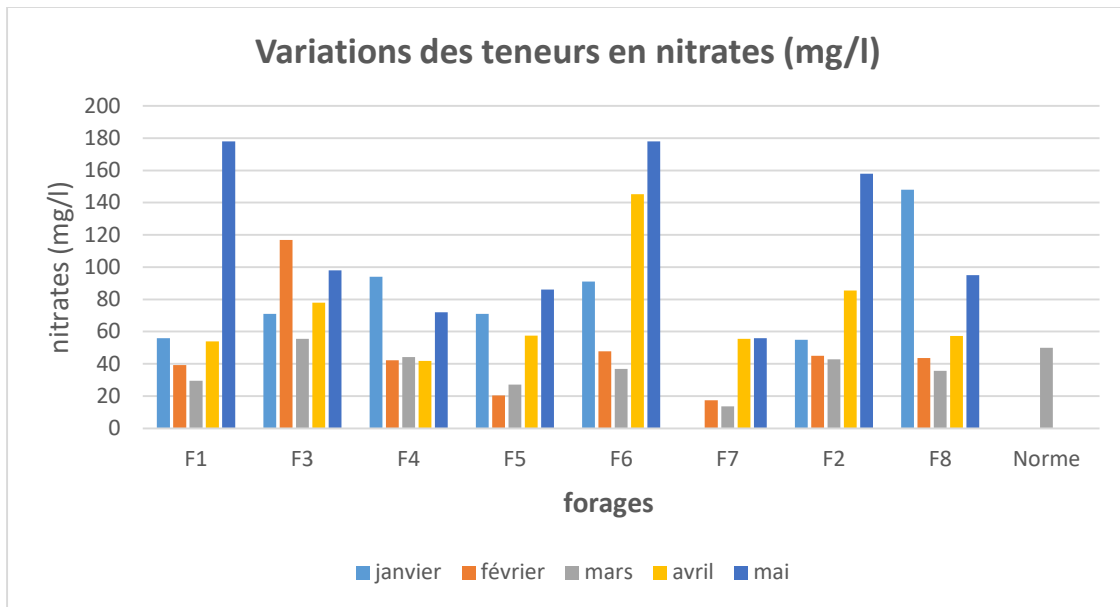


Figure.III.5 : Variations des teneurs en nitrates (mg/l) dans les forages de Bordj Senouci (période janvier_mai2025).

Conclusion

Conclusion

Cette contamination est majoritairement liée aux **activités agricoles intensives**, telles que l'usage excessif d'**engrais azotés**, les rejets organiques issus de l'**élevage**, et des pratiques d'**irrigation non maîtrisées**. Les résultats montrent également une **élévation significative de la conductivité électrique et de la salinité**, indiquant un appauvrissement global de la qualité physico-chimique de l'eau, particulièrement dans la **partie sud de la région**.

Les **variations saisonnières** observées, avec une hausse marquée des concentrations en avril et mai, soulignent l'influence combinée du **lessivage des sols** par les précipitations printanières, de l'**accumulation d'intrants agricoles**, et de la **perméabilité des sols** de la nappe libre du **Barrémien**, vulnérable à la pollution en raison de l'absence de barrière géologique protectrice. En comparaison avec les données de 2024, l'année 2025 révèle une **détérioration nette et étendue** de la qualité de l'eau, traduisant une aggravation de la pression anthropique.

Face à cette situation préoccupante, des **mesures urgentes** doivent être engagées. Il s'agit notamment de:

- Réduire l'usage des **fertilisants chimiques** au profit d'**engrais organiques**,
- Mettre en œuvre des **pratiques agricoles durables**,
- Créer des **zones tampons** entre les sources de pollution et les points de captage,
- Renforcer les **programmes de sensibilisation** auprès des agriculteurs,
- Déployer un **réseau de surveillance régulière** de la qualité des eaux souterraines,
- Et mener des **études hydrogéologiques approfondies** afin d'identifier les zones les plus sensibles à la contamination.

En somme, la **préservation des ressources en eaux souterraines** dans la région de Bordj Snouci nécessite une **approche intégrée** conciliant les exigences du développement agricole avec les impératifs de protection de l'environnement et de la santé publique. Seule une **gestion durable et raisonnée** permettra de garantir la **sécurité hydrique** et la **pérennité** de cette ressource vitale pour les générations futures.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

Adesmoye, A. & Kloepper, J. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria: a new frontier for sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1-3), 1-8.

Asadu, C. O., Ezema, C. A., Ekwueme, B. N., Onu, C. E., Onoh, I. M., Adejoh, T., ... & Emmanuel, U. O. (2024). Enhanced efficiency fertilizers: Overview of production methods, materials used, nutrients release mechanisms, benefits and considerations. *Environmental Pollution and Management*.

Baali, F., Gharbi, F., & Chaffai, H. (2020). *Évaluation de la qualité des eaux souterraines pour l'irrigation et la consommation humaine*. LARHYSS Journal, 42, 133–148.

Bel F., Lacroix L., Mollard M. et Regairaz E. (1999). Réduire la pollution azotée : les choix préalables d'une politique publique. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 36, 5-24.

Ben ahmed F., Chemma M. 2024. Pollution Des Eaux Souterraines De la Nappe du Barrémien Par Les Nitrates Dans La Région De Bordj Senouci (Nord-est de la wilaya de LAGHOUAT). Impact Sur L'environnement. Mémoire de master . Université Amar Telidji. Faculté des sciences, département de biologie.

Bentassa, n. e. h., & guettaf, m. (2021). Etude comparative de la composition des eaux de deux forages destinées a l'alimentation en eau potable de la zone de El Meniaa (doctoral dissertation, université Ghardaïa).

BOEGLIN, J. C. (2001). *Propriétés des eaux naturelles*. Ed. Techniques Ingénieur.

Boserup, E (2014). The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change Under Population Pressure. Routledge.

Boudjadja, A., Messahel, M. & Pauc, H. (2003). Ressources hydriques en Algérie du Nord. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 16(3), 285–304.

<https://doi.org/10.7202/705508ar>

Boukhadra H .(2023). Qualité des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de Guelma . Mémoire de Master ,Université 8 Mai 1945 GUELMA ,p 7-8

Références Bibliographiques

Bourrier R., Selmi B., (2011). Technique de la gestion et de la distribution de l'eau, Edition Moniteur, Paris, PP : 353-402.

Briand.C, (2014). Approche multi-traceurs pour la détermination de l'origine des nitrates dans les eaux souterraines : exemple d'une source karstique dans les landes. Thèse de doctorat en science de l'environnement. Univ Pierre et Marie curie, 297p

Camargo J.A., ALONSO Á. 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. Environment international, Volume 32, N°06, 831-849.

Casellas M., Dagot C., Baudi M. 2002. Stratégie d'élimination de l'azote d'un effluent urbain dans un réacteur discontinu séquentiel (SBR). Revues des sciences de l'eau, Volume 15, N°04, 749-765.

Centre d'Information sur l'Eau (CIE), (2013). Le cycle naturel de l'eau, le mercredi 7 août 2013, 6p.

Chauhan, P. S., Singh, A., Singh, R. P., & Ibrahim, M. H. (2012). Environmental impacts of organic fertilizer usage in agriculture. *Organic fertilizers: types, production and environmental impact*, 63-84.

Chelli.L, et Djouhari. N., (2013).Analyses des eaux de réseau de la ville de Bejaïa et évaluation de leur pouvoir entartrant. Mémoire de master. Université A. MIRA – BEJAIA, Faculté de technologie.

Chettih Mohamed (2007) , analyse fonctionnelle de quelques systèmes aquifères de l'Atlas Saharien Central , thèse de doctorat , faculté des sciences de la terre de géographie et de l'aménagement du territoire , université STHB Alger .

Collin, J. J. (2004). Les eaux souterraines: connaissance et gestion. Hermann. 31- 47 p.

Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hydrogeology*. McGraw-Hill.

Dégréement, « Mémento technique de l'eau », 2005, Lavoisier-Lexique technique de l'eau. Tome 1, Paris.

Références Bibliographies

Degremont., (2005) “Mémento technique de l’eau, Tome 1, 10ème édition, Edit. Tec et doc , pp : 3 -38.

Dugniolle H. (1980). L'assainissement des eaux résiduaires domestiques, CSTC - revue n° 3-septembre, pp. 44-52.

ElberrichiCh, Lefkiri A (2016-2017), étude lithostratigraphique et sédiment logique de la formation de Tiloula de la région d'el Bayedh (Atlas Saharien Central), mémoire de mastère, université de Tlemcen.

Elmorhit.M, (2009).Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences éco toxicologiques sur les différentes composantes d'un Ecosystème estuarien (Bas loukkos).Thèse de doctorat. Univ Mouhammed V. Agdal, Rabat, 232p.

Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology* (4th ed.). Prentice Hall.

Flessa, H., Ruser, R., Dörsch, P., Kamp, T., Jimenez, M. A., Munch, J. C., & Beese, F. (2002). Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, N₂O) from two farming systems in southern Germany. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1-3), 175-189.

Galloway JN, Schlesinger WH, Levy H, Michaels A, Schnoor JL (1995) Nitrogen fixation: Anthropogenic environmental response. *Glob Biogeochem Cycles* 9(2):235–252.
<https://doi.org/10.1029/95GB00158>

Gaujous, D. (1995). La pollution des milieux aquatiques. Aide-mémoire. 2eme Edition Lavoisier Paris, France. 187p.

Gérin, M., Gosselin, P., Cordier, S., Viau, C., Quénel, P., & Dewailly, É. (2003). *Environnement et santé publique: Fondements et pratiques*. Édisem/Tec & Doc.

Glanic R. et benneton J-P. (1989). Caractérisation d’effluents d’assainissement individuel et essais de matériels d’assainissement autonome - TSM - L’eau - 84 année - N 11 – pp. 573 584.

Références Bibliographiques

Godfray, H., J., C., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., Toulmin, C (2010). The challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327 (5967), 812–818.

Gros Claude G. (1999). L'eau usage et polluants. Tome 2 Edition INRA Paris. 210p.

Guillaume.J, (2008). Influence des activités agricoles sur la pollution des systèmes de grande culture sur les fuites de nitrate dans les plaines alluviales. Thèse de doctorat université Toulouse, 212p

Hannachi A.(1981). Relations entre aquifères profonds et superficiels : hydrogéologie de la vallée de l'Oued M'Zi, à l'est de Laghouat, Wilaya de Laghouat (Algérie). Diss. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, p 83-84.

Harris SJ, Cendón DI, Hankin SI, Peterson MA, Xiao S, Kelly BFJ (2022) Isotopic evidence for nitrate sources and controls on denitrification in Groundwater beneath an irrigated agricultural district. *Sci Total Environ* 817(April):17. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152606>

Haslay-C et Leclerc-H, 1993. Microbiologie des eaux d'alimentations. P 400.

Idrissi, L (2006). Nitrates et Nitrites : Polluant qui menacent la santé et l'environnement. Laboratoire des Analyses Chimiques et Biocapteurs, Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia. 12 p

Jarecki, M. K., Parkin, T. B., Chan, A. S., Hatfield, J. L., & Jones, R. (2008). Greenhouse gas emissions from two soils receiving nitrogen fertilizer and swine manure slurry. *Journal of environmental quality*, 37(4), 1432-1438.

John, D., et al. (2010). Impact of nitrate pollution on aquatic ecosystems. *Environmental Science & Technology*, 44(9), 3215-3220.

Jora. (2011) : Décret exécutif n° 11-125, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers : Bir -Mourad Raïs, Alger, Algérie, p25

Kacim, S., Ait Brahim, T., & Meddi, M. (2016). *Hydrogéochimie des eaux souterraines en zones semi-arides*. *Revue des Sciences de l'Eau*, 29(1), 25–38.

Références Bibliographiques

Kettab A., (1992). Traitement des eaux, Les eaux potables, Edition: Office des Publications Universitaires, Alger, PP : 111-123.

Kettab, A. (1992). La pollution des eaux souterraines par les nitrates en Algérie. *Revue des Sciences de l'eau*, 5(1), 77-88.

Kim HR, Yu S, Oh J, Kim KH, Lee JH, Moniruzzaman M, Kim HK, Yun ST (2019) Nitrate contamination and subsequent hydrogeochemical processes of shallow ground water in agro-livestock farming districts in South Korea. *Agric Ecosyst Environ* 273(March):50–61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.12.010>

Lakhal, A. (Juillet 2021). *Contrôle et Suivi de la qualité de l'eau traitée « Station de traitement - Chaiba »*, Mémoire de Master, Université Badji Mokhtar - Annaba, Faculté des Sciences de l'Ingénierat.

Lamaa, A. (2019). Eau: Étude Physico-Chimique et Bactériologique Et Développement d'un Système de Traitement (membrane à Base de Charbon Actif).

Louis Schriver-M.(2012). La gestion durable de l'eau : ressource, qualité, organisation p18.

Ma, B. L., Wu, T. Y., Tremblay, N., Deen, W., Morrison, M. J., McLaughlin, N. B., ... & Stewart, G. (2010). Nitrous oxide fluxes from corn fields: on-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer. *Global Change Biology*, 16(1), 156-170.

Magee, P-N (1956). Barnes, J-M., The production of malignant primary hepatic tumors in the rat by feeding dimethyl nitrosamine. *Brit. J. Cancer*, 10, 114-120.

Magee, P-N (1967). Barnes, J-M., Carcinogenic nitrosamine compounds, *Adv. Cancer Res.*,10, 163-169.

Margat, J., & van der Gun, J. (2013). *Groundwater around the world: A geographic synopsis*. CRC Press.

Mary B. (1992). Gérer l'interculture pour maîtriser la pollution nitrique. Journée d'étude Interculture et Nitrates, CORPEN-COMIFER, 2 janvier 1992, 16 p.

Références Bibliographies

Meadows, D., Randers, J., Meadows, D (2004). Limits to Growth: The 30-year Update. White River Junction. Chelsea Green Publishing, VT.

Metahri.M.S, (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat. Univ Tizi-Ouzou, 148p.

Mohammed Saïd M. (2012). Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la Step Est de da ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat, Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 172p.

Mollard A., Le Roche C., Lacroix A., Grappery C. et Bel F. (1998). The choice of economic instruments applied to non-point water pollution: an economic approach based on the contribution of natural sciences. In M. O'Connor & U. Ganslasser: Ecology and Society: life sciences dimensions. Filander Press, Francfort, 17 p.

Nassah, H., Toumi, H., & Boudjenoun, R. (2017). *Impact géologique sur la qualité chimique des eaux souterraines au Sud-Atlas*. Journal Algérien des Régions Arides, 15(2), 79–92.

Norse D. (2003). IFA-FAO Agriculture Conference on Global Food Security and the Role of Sustainable Fertilization, Rome, Italy, 26–28.

Nouayti, N., Khattach, D., & Hilali, M. (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc)[Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)]. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(4), 1068-1081.

OMS (1998). L'Organisation mondiale de la santé: Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva. Switzer land.

OMS (2008). WHO (World Health Organization), Guidelines for drinking water quality, vol.1, Recommendations (2nd edn.), Geneva, WHO, pp. 130.P20.

Références Bibliographies

Patrick C. (2009): TDS-Total Dissolved Solids. DEP-DWWM

https://dep.wv.gov/WWE/Programs/wqs/Documents/Triennial%20Review/May%2018,%202009/17155_tds.pdf

Potelon, J. L., & Zysman, K. (1993). Guide des analyses d'eau potable. Editions de " La Lettre du Cadre Territorial"(BP 215-38506 Voiron Cedex).

Ratel, M-O, (1992). Elimination des nitrates des eaux potables. Document technique FNDAE. Hors-séries No4, 8 P.

Rodier J., Legube B., Merlet N et Coll. 2009. L'analyse de l'eau, 9ème Edition, Dunod, Paris, France, 1600.

Rouha S, et Otsmane A (2020) . *Contribution à l'étude de la mise en place d'un périmètre de protection sur la zone de captage de la source de Mouzaia Wilaya de Blida.* Mémoire de Master, Université Saad Dahlab - Blida 1, Faculté de Technologie, Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement.

Smith M, Cross K, Laban P (2016). Spring managing groundwater sustainably. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, IUCN, Gland. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8>. EN

Smith, P., (2013). Delivering food security without increasing pressure on land. *Glob. Food Secur.* 2 (1), 18–23.

Tardat H M., Beaudry J.P. 1984. Chimie des eaux. LE griffon d'argile INC, Canada, 340.

USGS Water Science School (2013). Where is Earth's water? USGS Water-Science School.

WHO (2003). Nitrate and nitrite in Drinking-water (Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality). World Health Organization (WHO), Rapport WHO/SDE/WSH/04.03/56, 16 p.

Références Bibliographiques

Yu L, Zheng T, Zheng X, Hao Y, Yuan R (2020) Nitrate source apportionment in groundwater using Bayesian isotope mixing model based on nitrogen isotope fractionation. *Sci Total Environ* 718(May):137242. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.137242>

Zamiche, S. (2019). *Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique en tant qu'indicateurs de la qualité des eaux souterraines dans la plaine de la Mitidja* (Doctoral dissertation, Université Blida1-Saad Dahlab).

Zeghoud, M. (2014) : Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra. Mémoire de master, Université d'el-Oued. P20

Zettam A.(2018). Transfert des nitrates du bassin versant de la Tafna (Nord-Ouest de l'Algérie) vers la mer Méditerranée. Approche couplant mesures, modélisation et changement d'échelle vers les grands bassins versants Nord africains. Thèse de doctorat en écologie fonctionnelle. Université de Toulouse, France

Sites web :

[1] <http://www.iaea.org/fr/themes/les-eaux-souterraines>

[2] http://julientap.free.fr/travail_fichiers/TP_chimie_eau.pdf

[3] <https://sigessn.brgm.fr/spip.php?article24>